～ 早押しボタンと判定器 ～

取扱説明書 ＆
自作・改造マニュアル

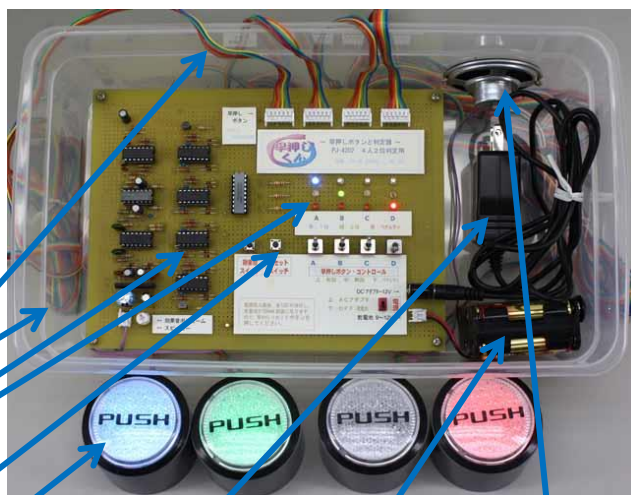
０．はじめに（経緯）

テレビのクイズ番組に使われているような早押しボタンがあると，盛り上がると思いませんか。いろいろと構想を練るうち，欲が出てきてきました。レストランの注文などで使われるワイヤレスチャイムは，どのボタンが押されたのかが分かっても，順位が分かりません。順位とどのボタンかが分かるものは 20 万円近くかかってしまいます。それでも，ボタンを押した本人は自分が１位なのかは分かりません。結局，WEB で偶然見つけた，押しボタン Omron W5GF-A12 を有線で使うことになりました。ボタン数を増やすことも可能な（順位判定回路を中心に必要な回路ブロックを増やすだけの）構成を考えてみました。

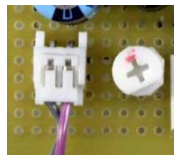
１．各部の名称

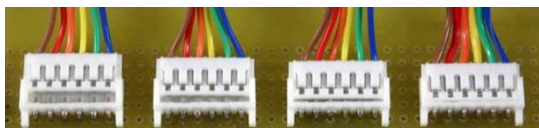
早押しボタンと判定器「早押しくん」には，次のようなパーツから構成されています。

・ボタンコード
・　ケース
・回路基板
・LED
・スイッチ類

・早押しボタン　・ＡＣアダプター　・乾電池ケース　・スピーカー

２．使い方

2-1．コネクタの接続

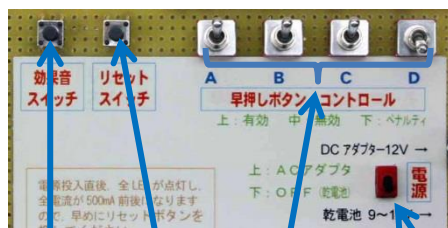
導入時に，各ケーブルを次の手順で基板に接続します。

(1) スピーカーコードと早押しボタン

右図のようにコネクタ

を水平方向に差し込みます。一度接続した後は，外す必要はないでしょう。外したいときは，**コードを引っ張るのではなく**，先のとがった千枚通しのようなもので隙間を広げてください。

⑵ 電源

AC アダプターや乾電池は，右図のように接続します。移動する場合や使わないで長期間放置する場合は，勝手にスイッチが ON になったり，乾電池から液漏れを起こさない様，乾電池や DC プラグをはずしておくとよいでしょう。

2-2. スイッチ類

電源は，ＡＣアダプターと乾電池から選択できます。次の「電源スイッチ」の方向を確認してから，ＡＣアダプターをコンセントに差し込むか，乾電池を入れてください（詳細は後述)。

効果音　リセット　ボタン･コントロール　電源

⑴ 電源スイッチ

「電源」スイッチは，どちら側も ON になります。上図の上側が電源アダプターの ON，その反対（上図の下側）が乾電池の ON になります。電源アダプターをコンセントに差し込まなければ上側 OFF になります。乾電池を入れなければ下側が OFF になります，あらかじめ電源が OFF になるように確認してから，電源アダプターや乾電池をつないでください。

電源が ON になると，早押しボタン内の LED やスイッチ類の上にある LED が一時的に点灯します。そのまま放置すると 500mA 程度の電流が流れたままになりますので，乾電池の減りが早まります。早めにリセットボタンを押してください。「リセットボタン」を押しても，赤い LED が点灯したままになることがありますが, LED コントロール用のトグルスイッチによって,点灯/消灯を選択することができます（詳細は後述)。

⑵ 効果音スイッチ

このスイッチを押すと「ピン」，離すと「ポーン」の音が発生します。本来，テストのために取り付けたものですが，クイズの正解時等に使えますので残しておきました。

⑶ リセットスイッチ

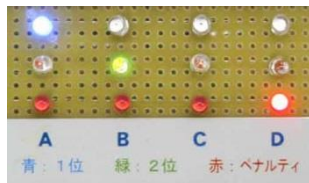
早押しボタンを押すと，順位に応じたLED（青や緑）が点灯したままになりますが，それをクリアして元に戻すのが「リセットボタン」です。ゲーム中では問題を出題する前に押すようにします。

⑷. LEDコントロール（トグル）スイッチ

４つのトグルスイッチが各早押しボタンに対応しています。このスイッチは，各早押しボタンの「有効」「無効」「ペナルティ」の３つの状態を設定できます。

①「**有効**」（電源ボタンの反対側，つまり上側）にすると，早押しボタンが使えるようになります。早押しの順位に対応して青や緑が点灯します。

②「**無効**」（真ん中）にすると，早押しボタンを押しても反応しません。使わない早押しボタンがある（人数が少ない）場合は無効にしておくとよいでしょう。

③「**ペナルティ**」（電源ボタン側，つまり下側）にすると，赤いLEDが点灯したままになり，早押しボタンを押しても反応せず「無効」と同じ状態になります。つまり，誤答したとき「次の１問はお休み」などのルールがある場合は，単に無効にするだけでなく，赤色のLEDで明確に表示したい場合に使います。

2-3. 各LED類

早押しボタンのLEDと基板上のLEDと１対１の対応をしています。つまり，基板上のLEDは，早押しボタンのLEDをモニタとして表示しています。

①**青**…リセットボタンを押された後，最初に押されたことを意味します。つまり，１番に押した人が誰かが青い色で分かります。ゲーム中では，最初の解答権をもつことを意味します。

②**緑**…２番目に早押しボタンを押したことを意味します。１番（青）の次に解答権をもつことを意味します。

③**赤**…基板上のLEDコントロール（スライド）スイッチをペナルティの位置にしたときに表示される色です。赤が点灯している間は，早押しボタンを押しても，青や緑は点灯しません。従って，誤答したときなどに１～２回の「お休み」を意味する色です。

2-4. 効果音の音量

基板の左手前（スピーカー用コネクタの右）に半固定の効果音ボリュームがあります。右に回せば音量が大きくなります。

ボリューム

３．動作原理

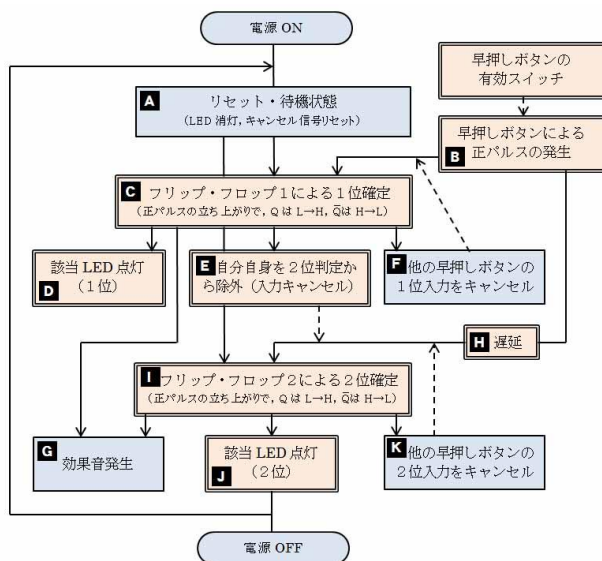
単純に，電源→スイッチ（早押しボタン）→LED の回路を４つ（複数）並べた状態を基本とすると，そこに次の機能が必要となります。

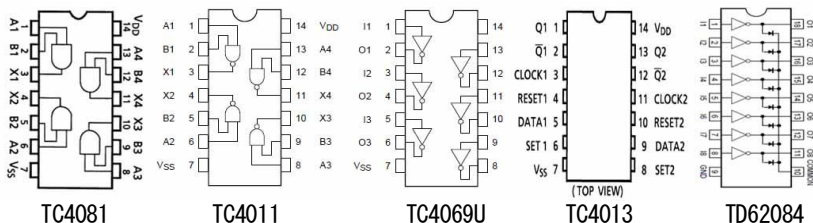
・早押しボタンが押されると１～２位の場合，LED の点灯だけでなく，効果音も出る機能（右図D,G,Ｊ）。

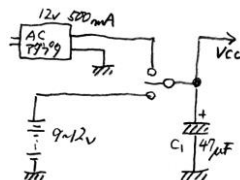
・早押しボタンを一瞬押して離しても，押した状態（電気的に）を維持する機能（C，Ｉ）。

・１位（２位）で押されたボタン以外ボタンによるパルス入力は，同じ１位（２位）の判定をしないよう入力をキャンセルする機能（F，K）。

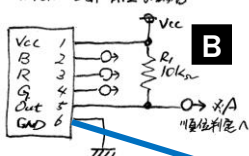
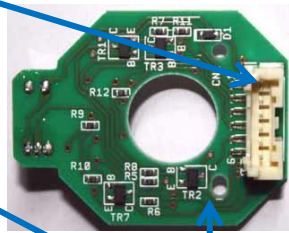
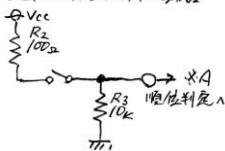
・１位で押されたボタンは，２位判定から除外する機能（E）。

そこで，それらの機能を関係付けたのが右図です。各ブロックが１つのまとまった回路となります。背景が茶色の回路は，押しボタンの数だけ必要となりますが，背景が青い回路は全体で１つです。

3-1. C-MOS ロジック IC

本器では，74 シリーズではなく，4000 シリーズの C-MOS ロジック IC を採用しています。早押しボタン Omron W5GF-A12 の定格電圧が 12V であることとや，効果音にある程度の音量を確保するにはより高い電圧の方がよいと考えたからです。

3-2. 電源部

電源アダプターと乾電池を単純にトグルスイッチで切り変えるだけです。電解コンデンサは，電圧を安定させ，ノイズを除去するために入れています。

3-3. 早押しボタン

早押しボタンを押したときに正パルスを発生させればよいので，右図（通常のプッシュスイッチの場合）のように接続すればよい。どちらも正パルスが発生します。

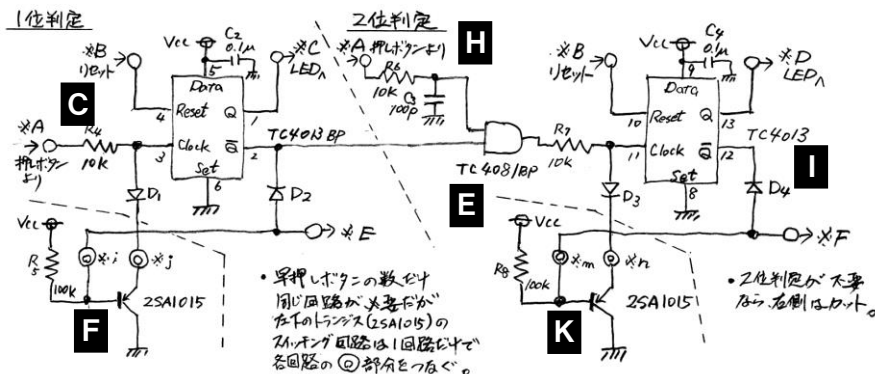
但し，Omron W5GF-A12 という LED 内臓のプッシュスイッチ（右図）の場合は，データシートに従って，図のように Vcc 側と抵抗でつなぎます。コネクタは PAP-06V-S と BPHD-001T-P0.5 が必要です。

Omron W5GF-A12　塩ビ管　内部回路

参考 URL　http://akizukidenshi.com/download/ds/omron/W5GF-A12_ak.pdf

3-4. 順位の判定

早押しボタンが一瞬だけの On で，すぐに Off になっても，電気的に押された状態を維持するためにフリップフロップ回路（双安定マルチバイブレーター）を使います。（待機状態とボタンが押された状態の２つの状態を維持すればよいので，ラッチ回路かフリップフロップ回路が必要ですが，価格や入手しやすさから TC4013BP（D-フリップフロップ）を使います。）

早押しボタンの Out(5 番)から出た正パルスは TC4013BP の Clock に入力され，入力正パルスの立ち上がりで，出力 Q は L→H，$\bar{Q}$は H→L となりま

す。早押しボタンが戻っても（Off），フリップフロップはこの状態を維持します。その出力 Q が LED の点灯信号に，$\overline{Q}$は他の残り３つの早押しボタン入力をキャンセルし，自分自身を２位判定から除外し，効果音を出すために使います。

トランジスタ 2SA1015 によるスイッチング回路は，１組を４判定回路で共有しますが，４回路の$\overline{Q}$のうちどれか１つが L になると，エミッタ電流が流れ，その後の早押しボタンのパルス入力を吸収します。つまり，１位（２位）が確定すると，フリップフロップへの信号入力をキャンセルし，リセットされるまで戻るとはありません。

一方で，この$\overline{Q}$出力と早押しボタン入力との TC4081BP の AND 出力を２位判定に使います。こうすることで，１位のボタンで２度目を押しても２位判定から除外されます。

AND の前にある R_6 と C_3 は，ローパスフィルタではなく，パルス信号遅延のためのものです。

２位の信号は，遅延，AND ゲートを通して，もう１つのフリップフロップの clock に入力され，１位と同様に２位判定の処理がなされます。

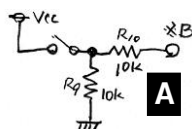
参考 URL

フリップフロップ　http://www.e-ele.net/DataSheet/TC4013.pdf

スイッチング　http://www.binzume.net/library/robo/e_tr.html

CR 遅延　http://www001.upp.so-net.ne.jp/FITDESIGN/manu1.htm

3-4. リセット

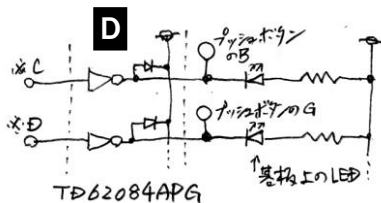
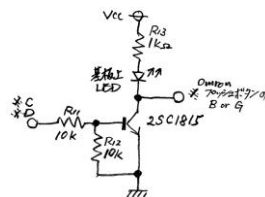
リセットは TC4013（フリップフロップ）の Reset を H にするだけですので，右図のようにします。

3-5. LED

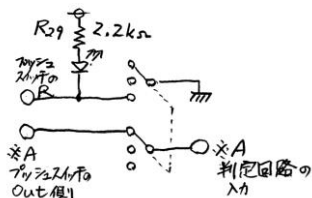
１位の判定結果も２位の判定結果も，LED を点灯するという点で同じ回路構成です。TC4013 の出力で直接 LED を点灯するのはせいぜい１個(10mA)程度です。原理は右図のトランジスタ 2SC1815 を用いた一般的なスイッチング回路ですが，実際は，この回路が８組必要となりますので，
8-ch トランジスタアレイ(C-MOS IC)TD62084APG を使います。

LED の電流制限抵抗は，使用する LED によって抵抗値を変えます。計算方法は WEB に数多く掲載されています。

早押しボタン Omron W5GF-A12 の場合は，スイッチ内部に抵抗をもっていますので電流制限抵抗は必要ありません。各色 90mA 程度が流れます。

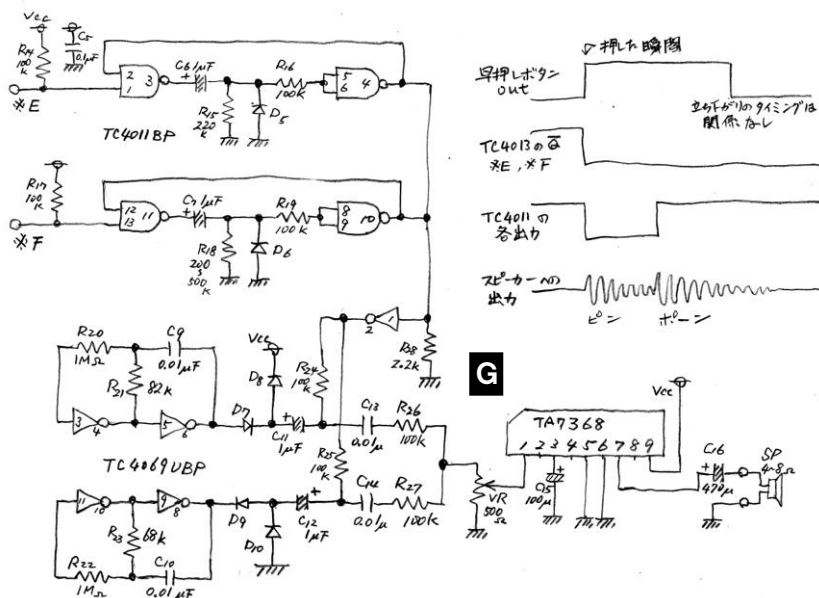
参考 URL

スイッチング　http://www.geocities.jp/zattouka/GarageHouse/micon/circuit/TR.htm
電流制限抵抗　http://bake-san.com/led012.htm
トランジスタアレイ　http://akizukidenshi.com/download/ds/toshiba/TD62083AFG_TD62084APG_ja_datasheet_091001.pdf

3-6. 早押しボタンの有効／無効

早押しボタンを無効にするには Omron W5GF-A12 の Out 信号を開くだけです。この回路では赤色の LED の点灯と連動するよう，6P のトグルスイッチを使っています。

3-7. 効果音

早押しボタンを押したとき短めのピンポン音（ピポン）を発生します。

TC4011 の NAND×2 は，負パルスを発生する単安定マルチバイブレーターです。早押しボタンを押してパルスが入ると，TC4013 の$\bar{Q}$が H→L になり（※E や※F を経由して），これがトリガーとなって負パルスの発生が開始します（下図)。このときの T_0は，ピンポ～ンのピンの時間間隔を意味します。T_0は，C_6×R_{15}及び C_7×R_{18}に比例します。上図では 0.2～0.3 秒になります。２回路あるのは，１位と２位で別の T_0が設定できるようにするためです。最後に NOT ゲートのインバータで正パルスに整形します。

TC4069 の NOT ゲート（インバータ）２つずつでピンやポーンの発振（非安定マルチバイブレーター）を行っています。周波数は，それぞれ C_9, R_{20}, R_{21} と C_{10}, R_{22}, R_{23} に依存します。減衰率はそれぞれ $C_{12} \times R_{25}$ 及び $C_{11} \times R_{24}$ に反比例し，２つずつのダイオードで振幅変調します。

ピンポンの効果音をスピーカーで鳴らすには，電力増幅しなければなりませんが，それを担当するのが C-MOS IC の TA7368P です。定格 10V ですが，データシートによれば Max.14V ですので 12V のまま使いました。1W 程度の出力が得られます。

参考 URL

単安定マルチバイブレーター

http://hp.hana-neko.com/electro/electro/oneshot/nand_oneshot.htm

http://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/30/30261/30261_5syo.pdf

非安定マルチバイブレーター

http://hp.hana-neko.com/electro/electro/not_multi/not_multi.htm

ピンポンチャイム回路

http://www.ne.jp/asahi/monkiti/momo/densi1/densi1-6-7.htm

TA7368P

http://www.kura-denshi.com/datasheet/ic/TA7368P.pdf

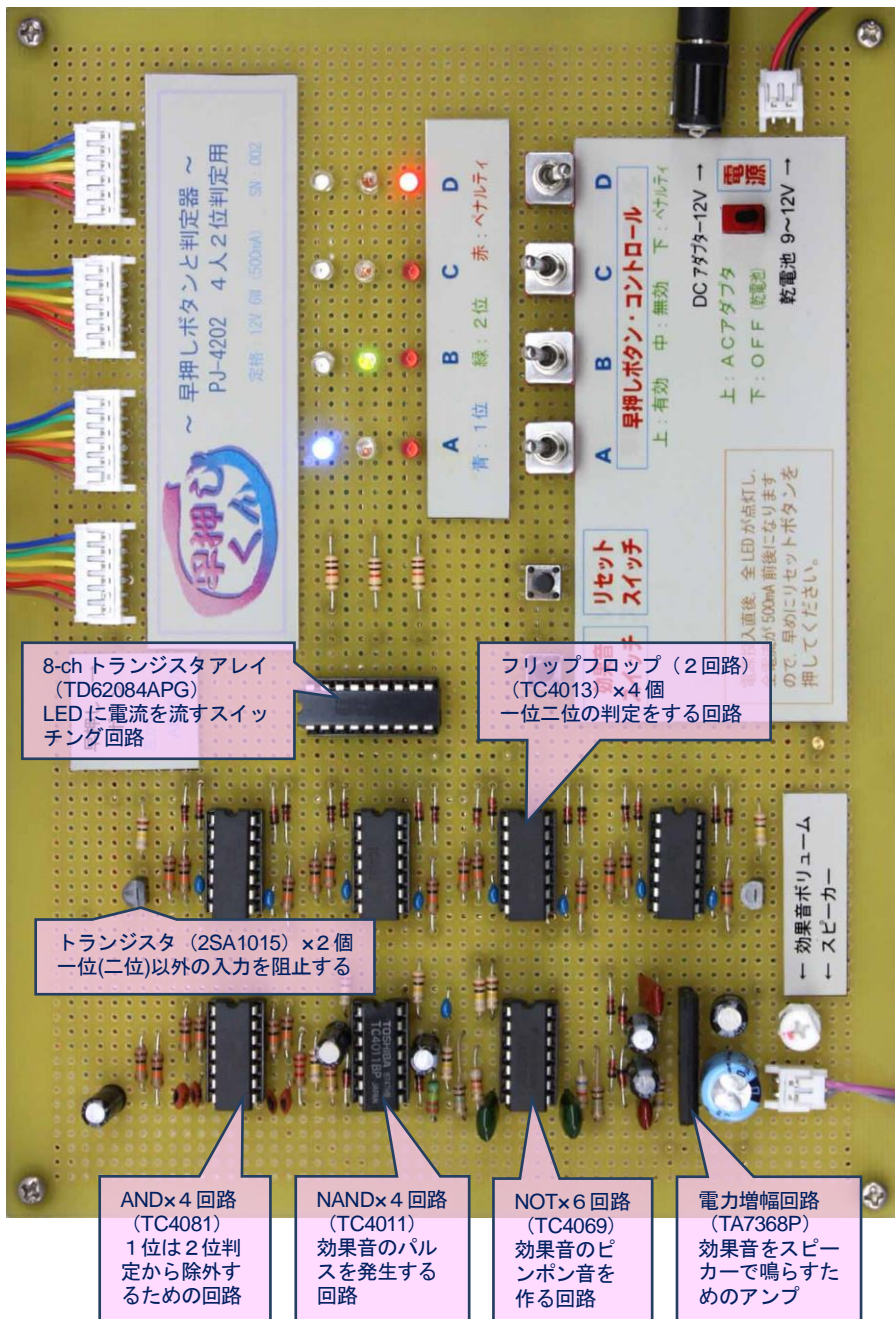
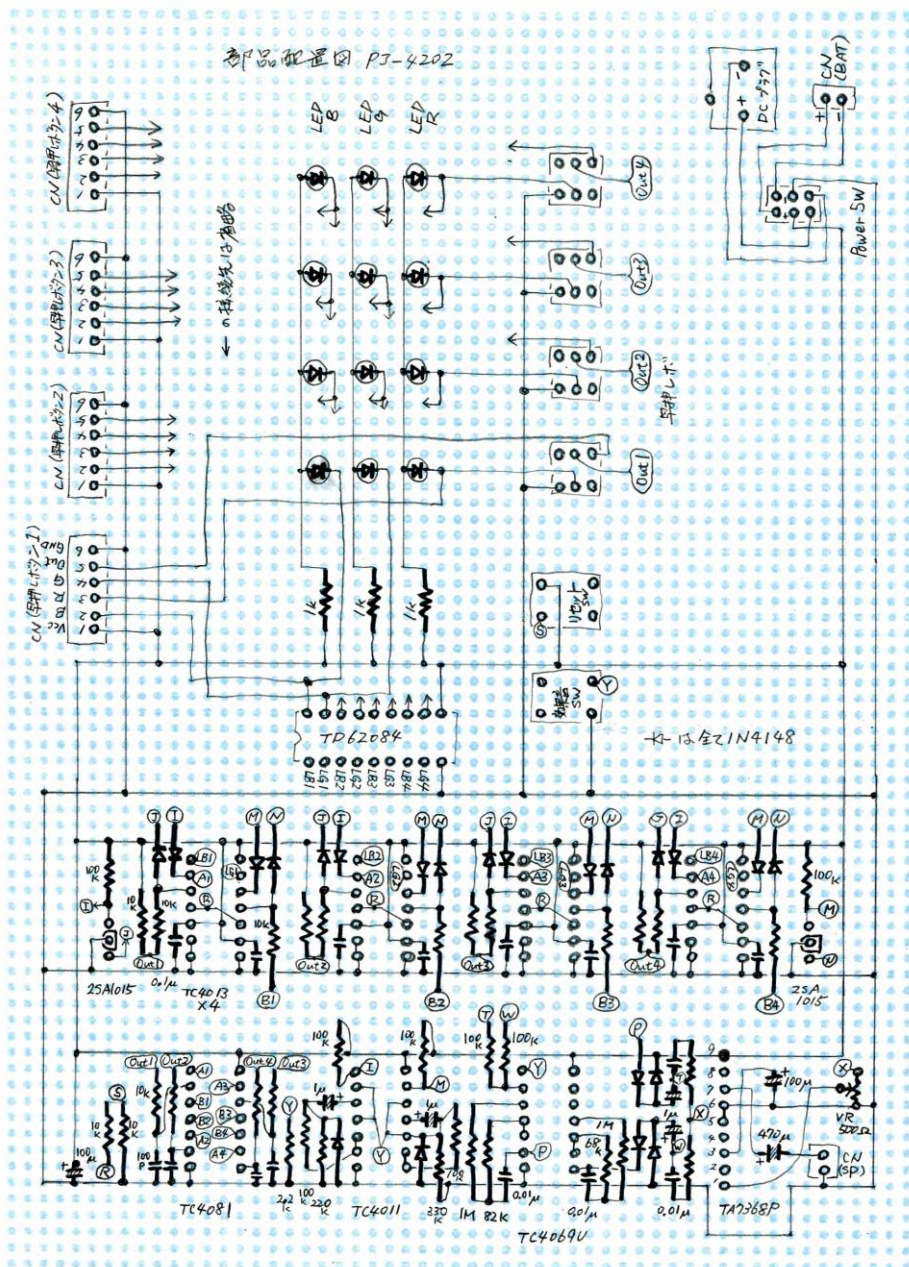
４．部品表（４ボタン２位までの判定の場合）

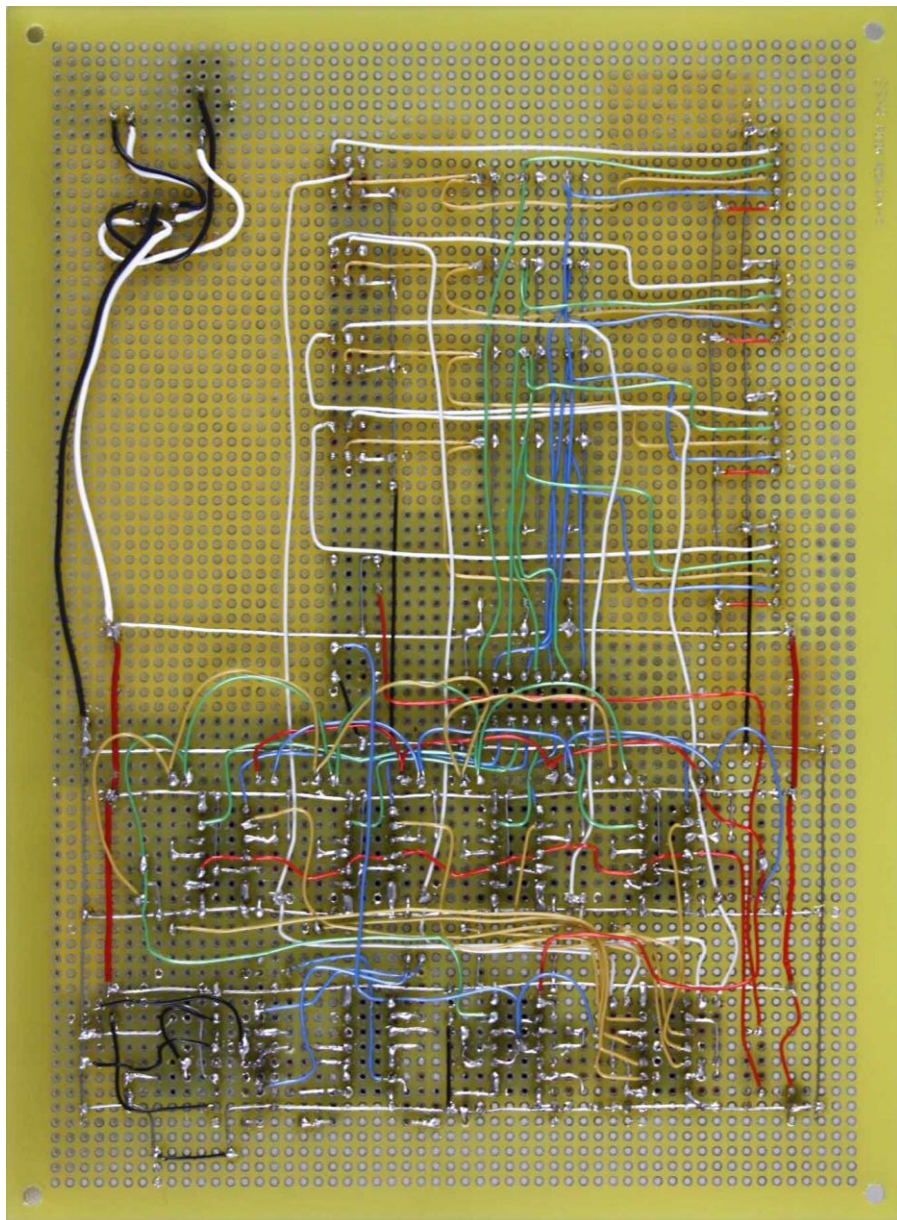
パーツ名	型番/規格	規格/数量	およその単価/ロット数
ケース		早押しボタンや基板が収まる程度の大きさ	105円/個
片面ガラス ユニバーサル基板		2.54mm ピッチ 210×155mm×1枚	550円/個
スペーサー		ねじ付15～20mm×4個	4個で50円
電源アダプタ		12V 1A－φ5.5×φ2.1 ×1個	600～1000円/個
電源ジャック		2.1mm（メス）×1個	60～100円/個
電池ケース		単三6～8本用×1個	100円/個
電池スナップ		×1個	10円/個
トグルスイッチ		基板用(On- On)6P×1個	100円/個
タクトスイッチ		基板用×2個	10円/個
トグルスイッチ		基板用6P(On-Off-On)×4個	100～120円/個
早押しボタン	Omron W5GF-A12	4個	150円/個
フラットケーブル	6芯以上	LANケーブルでも代用可　必要な長さ×4本	100～170円/m
早押しボタン側コネクタ(♀) 専用コンタクトピン	PAP-06V-S BPHD-001T-P0.5	早押しボタンOmron W5GF-A12 用 4組	170円/10個 420円/50個
基板側コネクタ(♂) コード側コネクタ(♀) 専用コンタクトピン	S2B-EH ｻｲﾄﾞ型6極 EHR-6 BEH-001T-P0.6	早押しボタンと基板を接続 6極　　4組	270円/10個 90円/10個 60円/100個
基板側コネクタ(♂) コード側コネクタ(♀)	S2B-EH ｻｲﾄﾞ型2極 EHR-2	電池とスピーカー用　2極　2組 コンタクトピンは上と同じ	130円/10個 50円/10個
塩ビパイプ	UV-50	4cm×4個	350円/m
C-MOS-IC	TC4011BP	1個	30～50円/個
	TC4013BP	4個	
ロジック	TC4069UBP	1個	
	TC4081BP	1個	
オーディオパワーアンプ	TA7368P	1個	90～100円/個
ICソケット	なくてもよいが， 交換しやすい。	2列14pin×7個，18pin×1個 1列9pin×1個	10円/個
トランジスタ	2SA1015	2個	100円/10個
ダイオード	1N4148	小信号高速スイッチング用×22本	100円/50本
LED		青,緑,赤φ3mm各4本	100円/10個
電解コンデンサ	470μF	C16…1個	20円/個
	100μF	C15…1個	10円/個
	47μF	C1…2個	
	1μF	C6,C7,C11,C12…4個	
積層セラミック	0.1μF	C2,C4,C5…9個	
マイラコンデンサ	0.01μF	C9,C10,C13,C14…4個	
セラミックコンデンサ	100pF	C3…4個	
可変抵抗	500Ω	基板用VR…1個	50円/個
抵抗	1MΩ	R22,R24…2本	40円/10本 ～ 100円/100本
	220kΩ	R15,R18…2本	
	100kΩ	R5,R8,R14,R16,R17,R19,R24, R25,R26,R27…9本	
	82kΩ	R21…1本	
	68kΩ	R23…1本	
	10kΩ	31本	
	2.2kΩ	R29…1本	
	1kΩ	R13…2本	
スピーカー	8Ω	1個	100円/個

※　単価は秋月電子通商や共立電子産業を参考にしていますが，送料・代引き手数料は含まれていませんので，結局部品だけでも１万円くらいになるでしょうか。

※　その他，テスターなどの検査器具，半田ごて，ハンダ吸取具，ラジオペンチ，ニッパーなどの工具，はんだ，錫メッキ線，耐熱被膜線などの消耗品が必要です。

５．ユニバーサル基板

8-ch トランジスタアレイ
（TD62084APG）
LED に電流を流すスイッチング回路
フリップフロップ（２回路）
（TC4013）×４個
一位二位の判定をする回路
トランジスタ（2SA1015）×２個
一位(二位)以外の入力を阻止する
AND×４回路
（TC4081）
１位は２位判定から除外するための回路
NAND×４回路
（TC4011）
効果音のパルスを発生する回路
NOT×６回路
（TC4069）
効果音のピンポン音を作る回路
電力増幅回路
（TA7368P）
効果音をスピーカーで鳴らすためのアンプ

６．部品接続図（表側から見た図）

※ 配線図の素子番号とは関係ありません。太線は表側，細線は裏面の配線です。

７．裏面

※ 本来，このように裏面に配線するのはよくないのですが，表側は，早押しボタンの収納やボタン類の操作に使いますので，引っかかりやすい配線は全て裏に回した結果です。